

University of Groningen

Interface and surface roughness of polymer-metal laminates

van Tijum, Redmer

IMPORTANT NOTE: You are advised to consult the publisher's version (publisher's PDF) if you wish to cite from it. Please check the document version below.

Document Version

Publisher's PDF, also known as Version of record

Publication date:

2006

[Link to publication in University of Groningen/UMCG research database](#)

Citation for published version (APA):

van Tijum, R. (2006). *Interface and surface roughness of polymer-metal laminates*. s.n.

Copyright

Other than for strictly personal use, it is not permitted to download or to forward/distribute the text or part of it without the consent of the author(s) and/or copyright holder(s), unless the work is under an open content license (like Creative Commons).

The publication may also be distributed here under the terms of Article 25fa of the Dutch Copyright Act, indicated by the "Taverne" license. More information can be found on the University of Groningen website: <https://www.rug.nl/library/open-access/self-archiving-pure/taverne-amendment>.

Take-down policy

If you believe that this document breaches copyright please contact us providing details, and we will remove access to the work immediately and investigate your claim.

Downloaded from the University of Groningen/UMCG research database (Pure): <http://www.rug.nl/research/portal>. For technical reasons the number of authors shown on this cover page is limited to 10 maximum.

Samenvatting

Het grensvlak tussen een metaal en een glasachtig polymeer vormt een discontinue overgang in fysische eigenschappen. Wanneer composiet van zulke materialen plastisch wordt vervormd, komen de verschillende eigenschappen van zowel het polymeer als het metaal tezamen op het grensvlak. De metaalkant kenmerkt zich door dislocatiebeweging en generatie van stappen aan het grensvlak. In het polymeer leidt macroscopische vervorming boven de vloeigrens tot de lokalisatie van deformatie in zogenaamde *afschuifbanden*. De interactie tussen deze beide materialen leidt uiteindelijk tot interacties op het grensvlak van het polymeer-metaallaminaat. In de literatuur zijn de afzonderlijke componenten van het laminaat veelvuldig beschreven, maar het composietsysteem als geheel vrijwel niet.

Het doel van het onderzoek dat beschreven staat in dit proefschrift is het vervormingsproces van de materiaalcombinatie glycol gemodificeerd polyethyleentereftalaat (PETG) film op een stalen substraat fysisch te beschrijven. Het eerste deel van dit proefschrift gaat nader in op het meten van de hechtingssterkte (de hechtingsenergie) van vervormde en onvervormde laminaten. In het tweede gedeelte komen de effecten van vervorming op de hechtingssterkte aan bod.

De hechtingssterkte tussen verschillende lagen kan worden gemeten via het delamineren van deklagen met behulp van een laser (LID). In deze methode wordt een laserpuls gebruikt om een dunne laag van de deklaag op het grensvlak op te branden. De verbrandingsgassen die hierbij ontstaan zorgen voor blaarvorming. Als de druk in de blaar hoog genoeg is, zullen delen van de deklaag rondom de blaar delamineren. Om de resultaten van deze metingen te kunnen verwerken, wordt tot nu toe een elastisch model gebruikt. Hiermee is het mogelijk om de hechtingssterkte te bepalen, na meting van de blaarhoogte en blaarbreedte.

Het gebruik van een eindige-elementensimulatie maakte het mogelijk om de invloed van plastische vervorming te doorgronden. Het grensvlak wordt hierbij gerepresenteerd door een rek-spanningverloop, dat zowel afschuiving als trek kan beschrijven. De berekende spanningen komen overeen met de simulaties in die gedeelten waar het elastische model geldig is. Verder kan uit het onderzoek naar het effect van het grensvlak geconcludeerd worden, dat er een relatie is tussen de maximale sterkte van het grensvlak en de vloeigrens van de deklaag. Zodra de vloeigrens lager ligt dan de maximale sterkte van het grensvlak, is plastische vervorming van de deklaag het

Samenvatting

gevolg. Mede daardoor kunnen we concluderen dat de LID-techniek minder geschikt is voor goed hechtende deklagen.

De tweede techniek die in dit proefschrift toegepast is, richt zich op microscopische observaties van de voortplanting van scheuren op polymeer-glasgrensvlakken en de scheurvoortplantings-mechanismen. Tijdens dit proces werd gebruik gemaakt van de zogenaamde ADCB-test, waarbij een scheermes tussen twee asymmetrische eenzijdig ingeklemde balken werd geschoven. Een optische microscoop zorgde in deze voor het nauwkeurig vastleggen van het scheurfront. Analytische formules voor de hechtingssterkte en de fasehoek zijn vergeleken met eindige elementenberekeningen van het gebruikte glas-PETG-metaalsysteem. Hieruit volgt dat met relatief eenvoudige analytische vergelijkingen de fasehoek en de hechtingssterkte met een maximale fout van 10% kunnen worden bepaald.

Met een voor dit onderzoek ontwikkelde beeldverwerkingstechniek, kunnen scheurfronten uit de microscoopbeelden geïsoleerd worden. Hier is duidelijk naar voren gekomen dat scheuren zich zowel inhomogeen in ruimte als tijd verplaatsen. Daarnaast zijn er twee verschillende gevallen van scheurvorming ontdekt: in de eerste plaats kan de scheurvoortplanting wordt bepaald door het ontstaan van instabiliteiten. Ten tweede kunnen de individuele instabiliteiten de scheurvoortplanting bepalen.

Uit onderzoek is gebleken dat de deklagen inhomogeen vervormen tijdens het rekken van een laminaat. De optische dubbele breking van deklagen hangt af van de locale deformatie. Door een aantal kleine aanpassingen aan een bestaande optische microscoop, is het mogelijk om op microscopische schaal de locale dubbele breking te meten. Uit de dubbele breking van PETG-gelamineerde roestvrij staal blijkt dat de lokalisatie van de spanning ver voor de macroscopische vloeigrens ontstaat. De evoluerende oppervlakteruwheid aan het grensvlak kan als stuwende kracht achter deze lokalisatie aangemerkt worden. Dit gaat zelfs zo ver dat een dunne laag van 4 μm plaatselijk elastisch blijft tot globale rekken ver boven de rek bij de vloeigrens.

Het vrije oppervlak van de deklaag wordt beïnvloed door de deformatie van het laminaat. Dit vrije polymeeroppervlak kan met behulp van Confocale-wit-lichtmicroscopie worden gekarakteriseerd. De ontwikkeling van het vrije oppervlak van een polymeer-gelamineerde roestvrij staal kan worden uitgedrukt als functie van de defroamtiegraad. De ruwheid van het oppervlak is beschreven met drie parameters afhankelijk van de rek: de standaarddeviatie van de ruwheid $w(\varepsilon)$ boven de correlatie lengte $\xi(\varepsilon)$, en een Hurst exponent $H(\varepsilon)$ kenmerkt de zelf-affiniteit van het oppervlak beneden $\xi(\varepsilon)$. Door simulaties en experimenten te combineren kunnen de volgende relaties in oppervlakteruwheid worden onderscheiden: $w(\varepsilon)$ hangt af van spannings-rek karakteristieken van de deklaag, in combinatie met het aantal beschikbare

Samenvatting

afschuifvlakken. Voor zowel de simulatie als de experimenten is een relatief lage $w(\varepsilon)$ gevonden voor laagdikten $d(\varepsilon) \approx \xi(\varepsilon)$. Voor het elastische en verhardingsregime neemt $w(\varepsilon)$ af als functie van de dikte $d(\varepsilon)$. Voor toenemende dikte van de deklaag wordt $H(\varepsilon) \approx 1$. Hierbij moet opgemerkt worden dat er in het algemeen gesproken kan worden van een gladder oppervlak voor dikkere deklagen.

De sterkte van het grensvlak wordt in grote mate beïnvloed door de oppervlakteruwheid aan het grensvlak. Dit is gekwantificeerd met een theoretisch onderzoek naar de invloed van ruwheid op de hechtingssterkte. Hiervoor is een algoritme ontworpen, die oppervlakken kan genereren met een specifieke zelf-affiniteit. De geproduceerde oppervlakten zijn in een eindige elementensom gebruikt als grensvlak tussen PETG en staal. Hierna is de polymeerlaag en het staal uit elkaar getrokken, waarna de kracht een maat is voor de effectieve hechtingssterkte. Met dit model wordt geconcludeerd dat voor kleine oppervlakte vergrotingen als gevolg van ruwheid, de hechtingssterkte lineair afhangt van de oppervlaktevergroting. Deze relatie gaat echter niet meer op als de oppervlaktevergroting meer dan 150% bedraagt. Voor lagere elastische moduli is de afwijking van het lineaire gedrag groter. Dit wordt veroorzaakt door een reductie van de opgeslagen elastische energie in het polymeer.

Tenslotte is er een eindige elementenstudie uitgevoerd op de invloed van de verruwing tijdens een één-assigge trekproef om de hechtingssterkte te bepalen van een glasachtig polymeer. Het polymeer in de deklaag is beschreven met een constitutieve wet, die het gedrag van PETG nabootst. Het omvat zowel een elastisch deel als vloeispanning, verweking en verharding. Ook in dit geval is er gekozen voor een rekspanningverloop die zowel schuif- als trekspanningen gekoppeld beschrijft. Deze is gedefinieerd door een hechtingssterkte en een karakteristieke werklengete. In het begin wordt het metaaloppervlak beschreven door een drietal rekafhankelijke functies die de zelf-affiniteit beschrijven: $H(\varepsilon)$, $\xi(\varepsilon)$ en $w(\varepsilon)$.

De resultaten kunnen als volgt worden samengevat: de hechtingssterkte neemt af totdat de vloeispanning in de deklaag is bereikt. Tijdens de macroscopische verweking van de deklaag daalt de macroscopische spanning en daarmee een gedeeltelijk herstel van de hechtingssterkte. Tijdens de macroscopische verharding stopt het herstel van de hechtingssterkte.

